

**TRABAJO DE GRADO**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO A  
NIVEL PREDIAL**



***UDRIP***

**DIANA FERNANDA VALENCIA TABARES**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**SANTIAGO DE CALI**

**2013**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO A  
NIVEL PREDIAL**

**DIANA FERNANDA VALENCIA**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Agrícola.**

**DIRECTOR**

**ANDRES F. ECHEVERRI S. Ing. Agrícola. MSc.**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE  
INGENIERÍA AGRÍCOLA  
SANTIAGO DE CALI, 2013**

### **NOTA DE ACEPTACIÓN:**

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Valle para optar el título de Ingeniero Agrícola.

---

Firma Director.

---

Firma Jurado.

---

Firma Jurado.

Santiago de Cali, Enero 2013.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Daniel Barragán Calderón. Ingeniero Electrónico MSc. Profesor de la Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería en Sistemas y Computación, Laboratorio de Multimedia y Visión (MMV Lab) co-director de este proyecto. Por ofrecerme una guía durante este proceso, sin su conocimiento este proyecto no hubiera tenido final, gracias por esos consejos cuando más los necesite. De corazón Gracias.

Andrés F. Echeverri S. Ingeniero Agrícola MSc. Profesor de la Universidad del Valle, Escuela de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, director de este proyecto, por el aporte de ideas, la corrección, mejora y constante seguimiento a este proyecto.

A Yefry López (Choclo Frito), gracias por tu colaboración y por hacerme reír en el proceso, por tu tiempo y por las ayudas por el Facebook. A mis compañeros de estudio por colaborarme con los datos de los análisis, a mis compañeros de trabajo, muchas gracias por el tiempo otorgado para la realización de este proyecto. A Lina Marcela Luna por ser mi pilar en los tiempos de crisis, escucharme y aconsejarme. A Laura Collazos por ser mi apoyo en las dudas, sugerencias y ser mi cómplice durante toda la carrera.

Gracias, gracias, gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. ANTECEDENTES .....	11
4. MARCO TEÓRICO .....	17
4.1. RIEGO POR GOTEIO.....	17
4.1.1. Definición .....	17
4.1.2. Características.....	17
4.1.3. Ventajas .....	17
4.1.4. Desventajas .....	18
4.2. PROCESO DE DISEÑO .....	20
4.2.1. Demanda hídrica .....	20
4.2.2. Diseño agronómico .....	24
4.2.3. Diseño hidráulico .....	28
5. METODOLOGÍA .....	33
5.1. SISTEMATIZACIÓN DE PROCESOS .....	33
5.2. HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN.....	35
5.3. PROCESO DE PROGRAMACIÓN .....	36
6. RESULTADOS.....	40
6.1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE .....	40
6.1.1. Ventajas del software .....	40
6.2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SOFTWARE.....	41
7. CONCLUSIONES .....	51

8. RECOMENDACIONES .....	52
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
10. ANEXOS .....	56

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de aplicación para RLAF.....	22
Tabla 2. Valores recomendados por Pizarro para coeficiente de uniformidad. ....	23
Tabla 3. Pérdidas unitarias por fricción.....	29
Tabla 4. Datos para el diseño de riego por goteo. ....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ambiente gráfico RILO.....	13
Figura 2. Ambiente gráfico Irrimaker.....	14
Figura 3. Esquema de distribución de presiones en el módulo. ....	31
Figura 4. Esquema de datos de entrada y salida. ....	34
Figura 5. Secuencia de datos de la demanda hídrica.....	37
Figura 6. Secuencia de cálculos del diseño agronómico.....	38
Figura 7. Secuencia de cálculos del diseño hidráulico. ....	39
Figura 8. Interfaz gráfica primera etapa. ....	41
Figura 9. Selección gotero.....	42
Figura 10. Ingreso de datos. ....	42
Figura 11. Ingreso de datos. ....	42
Figura 12. Datos del emisor. ....	42
Figura 13. Interfaz gráfica diseño agronómico. ....	43
Figura 14. Datos del diseño agronómico.....	43
Figura 15. Interfaz gráfica diseño hidráulico. ....	44
Figura 16. Datos de la ecuación del emisor.....	44
Figura 17. Desplegable tamaño emisor.....	45
Figura 18. Ingreso de datos para la ecuación del emisor.....	45
Figura 19. Datos de las tolerancias. ....	46
Figura 20. Datos para cálculo de caudales y presiones.....	46
Figura 21. Chequeo de presiones.....	46

Figura 22. Tabla de datos del proyecto. ....	47
Figura 23. Cuadro de selección para guardar. ....	47
Figura 24. Archivo final. ....	48
Figura 25. Esquema del proceso de prueba del software. ....	49
Figura 26. Modelo de ajustes. ....	50

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo.....	21
Ecuación 2. Evaporación real.....	21
Ecuación 3. Precipitación efectiva. ....	21
Ecuación 4. Necesidades netas de riego. ....	22
Ecuación 5. Necesidades de lavado.....	22
Ecuación 6. Necesidades totales. ....	23
Ecuación 7. Necesidades diarias. ....	23
Ecuación 8. Caudal de flujo continuo.....	24
Ecuación 9. Caudal de distribución.....	24
Ecuación 10. Rango de profundidad bulbo húmedo. ....	25
Ecuación 11. Área mojada por el emisor.....	26
Ecuación 12. Emisores por planta. ....	26
Ecuación 13. Frecuencia de riego.....	26
Ecuación 14. Tiempo de riego. ....	27
Ecuación 15. Separación entre emisores.....	27
Ecuación 16. Tolerancia de caudales.....	28
Ecuación 17. Ecuación general del gotero.....	28
Ecuación 18. Ecuación para el diferencial de presiones. ....	29
Ecuación 19. Número de Reynolds.....	29
Ecuación 20. Coeficiente Christiansen (F). ....	30
Ecuación 21. Factor de pérdida en la conexión (S). ....	30
Ecuación 22. Ecuación para las pérdidas de energía en el lateral del módulo de riego. ....	30
Ecuación 23. Ecuación para pérdidas de energía en el lateral medio del módulo de riego.	30



Ecuación 24. Ecuación para pérdidas de energía en el múltiple del módulo de riego.....	30
Ecuación 25. Ecuación para pérdidas en el lateral crítico.....	31
Ecuación 26. Tolerancia de presiones.....	31
Ecuación 27. Pérdidas por conducción en la red.....	32
Ecuación 28. Cabeza dinámica total. ....	32

## **1. INTRODUCCIÓN**

El riego consiste en la aplicación artificial del agua al suelo con el propósito de proveer la humedad necesaria para el sostenimiento de las plantas. El riego localizado de alta frecuencia en sus distintas variantes: goteo, microaspersión, exudación, etc., han protagonizado una verdadera revolución en la agricultura de regadío, aumentando los rendimientos de los cultivos, potenciando suelos marginales, facilitando un manejo más racional del agua y los abonos y, permitiendo una agricultura tecnificada y rentable (Pizarro, 1996).

El uso de los medios tecnológicos en los diferentes campos de la agricultura empezó con la agricultura de precisión (AP), un concepto integral acerca de la gestión productiva que implica el uso de tecnologías de información para la toma de decisiones de manejo, técnica, económica y ambiental adecuadas para la producción agrícola, combinada con una serie de dispositivos electrónicos, maquinaria y herramienta de avanzada (Albornoz, 2006), el uso de sistemas de información geográfica (SIG), muy utilizados en la caracterización de terrenos para planes de desarrollo rural, seguido por el uso de software de gestión para el productor. Estos software son tan específicos que pueden ayudar a tomar decisiones sobre que plantar en el predio, ver que etapas del proceso están fallando o calcular cuántos animales se pueden tener en un campo de determinado terreno. Hay una gran variedad de aplicaciones: pronóstico de cosechas, control de plagas, irrigación local, control de las heladas, riego tecnificado, etc.

Dado a la necesidad del uso eficiente del agua en la actualidad, el diseño de cualquier sistema de riego debe ser lo más preciso y confiable, por esta razón en el grupo de investigación REGAR surge la necesidad de hacer uso de las herramientas tecnológicas para la creación de un software que permita realizar el diseño de sistemas de riego por goteo, de forma precisa y rápida, que permita tener la facilidad de utilizarlo con diversos cultivos, el resultado de este trabajo es UDRIP, un software que permita realizar los cálculos por etapas utilizando la metodología de Fernando Pizarro (1996), y programado en NETBEANS, dando como resultado un software con un ambiente de trabajo amigable, fácil de usar, con resultados claros y de fácil interpretación.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un software para el proceso de diseño de sistemas de riego por goteo en el Valle geográfico del río Cauca.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Sistematizar el proceso de cálculo de sistemas de riego por goteo bajo las condiciones existentes en el Valle geográfico del río Cauca.
- Programar el proceso de diseño de riego por goteo con la aplicación IDE NetBeans.
- Estructurar una guía para el usuario de la aplicación de software de diseño de riego por goteo.

### **3. ANTECEDENTES**

La difusión del uso y la aplicación de las tecnologías de la informática y la comunicación en las principales esferas de la vida humana y el impacto positivo que ha traído consigo son hechos ya ampliamente reconocidos a nivel mundial (Albornoz, 2006). Diversos académicos y especialistas han debatido y analizado el rol estratégico que cumple en la actualidad y la potencialidad que supone para los países de América latina y en Colombia donde el uso de software se ha implementado cada vez más, debido a la tendencia de minimizar el uso de recursos para disminuir costos y obtener el mayor provecho en materias primas, sofisticando el funcionamiento de los sectores productivos y de esta manera generar condiciones de competitividad internacional y la incorporación de valor agregado (Albornoz, 2006). Así, su uso va desde riegos hasta fertirriego con el programa FertiNet creado en Brasil para el fertirriego de caña de azúcar. Desde hace varios años se han venido presentando en el mercado internacional una serie de programas que facilitan el diseño de los sistemas de riego, ya sea por goteo o por aspersión. Muchos de ellos teniendo que pasar por numerosos ajustes a medida que cambiaban las prioridades del comprador o nuevos productos salían al mercado. Con el incremento de las exportaciones se ha llevado una lenta vinculación de la automatización de los sistemas de riego, los cuales se han hecho más eficientes, demandando sistemas de control que permitan supervisar las variable que intervienen en el mismo (Agudelo *et al.*, 2005).

Entre ellos se destacan los programas Rilo, Kgoteo, DHV 2.0 entre otros los cuales se utilizan en países de América latina y Estados Unidos, para el diseño y la programación de riego, basados en sus necesidades locales, con información detallada para cada región, o simplemente los que requieren un mayor conocimiento del software utilizado, ya que algunos son muy difíciles de manejar como por ejemplo Irrimaker. A continuación se presentan algunos de los software encontrados en el mercado con una breve descripción.

- **DRIP IRRIGATION - KGOTEO**

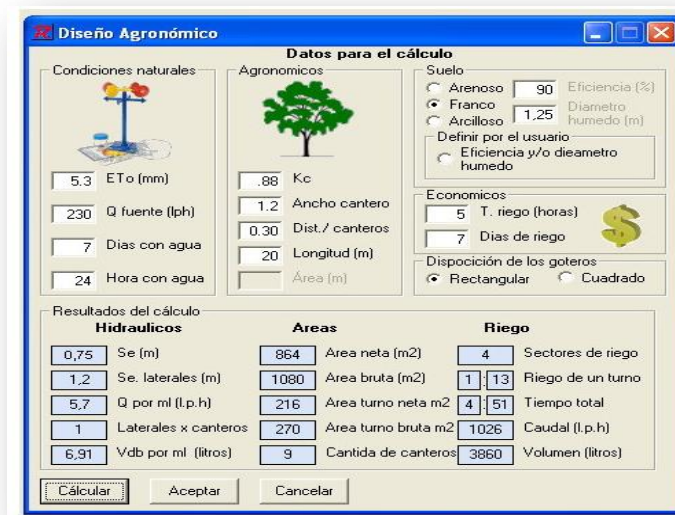
KGOTEO es un software para el diseño de sistemas de riego por goteo, usado en 1996 para el chequeo de los sistemas instalados en las plantaciones de caña de

azúcar en los Centrales Azucareros de Venezuela, como C.A. Agrica de Carora, y a partir de 1998 en empresas azucareras del Perú como San Jacinto en el Valle del Río Nepeña, Andahuasi en el Valle del Río Huaura, Paramonga Valle del río Fortaleza, en el 2005 en Brasil, Sao Paulo fundo Pera Marmelo, etc. También se ha usado en el diseño de nuevas instalaciones realizadas en zonas alto andinas del Perú, como el Callejón de Conchucos en Huaraz, Candarave en Tacna y en el Proyecto Chavimochic, etc. Así mismo se ha distribuido entre los profesionales y técnicos de las empresas azucareras en que se ha dictado el curso de diseño. Actualmente su uso se ha difundido a través de las universidades y Colegios de Ingenieros de América latina y Centro América principalmente. (URL 1).

Este programa es una herramienta utilizada para diseñar sistemas de riego por goteo para cultivos de Caña de Azúcar, cebolla, paprika, pimentón, tomate, espárragos, flores, otras hortalizas, uvas, olivo y frutales. Define parámetros de diseño para el cultivo, permite realizar el diseño agronómico, hidráulico y el filtrado del sistema, seleccionar los tratamientos de operación y mantenimiento en el sistema, las dosificaciones y tiempos de aplicación de fertilizantes. Además permite evaluar el sistema de riego en funcionamiento y facilita la evaluación del proyecto del sistema de riego.

- **RILO**

RILO (Fig. 1), es una aplicación que permite además del diseño del sistema de riego por goteo, hacer un análisis de la presión y caudal. Está concebido específicamente para el diseño de huertos regados con riego por goteo mediante depósitos de baja altura, aunque puede ser aplicado a otros cultivos y condiciones. (URL 2).



**Figura 1. Ambiente gráfico RILO.**

Fuente El regante.com

- **DHV 2.0**

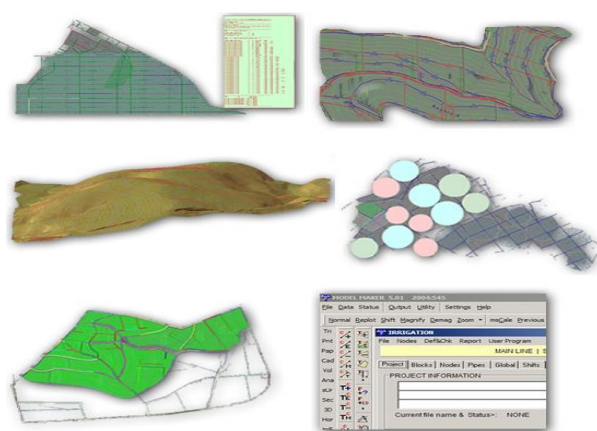
Este software está diseñado para calcular los laterales de riego por goteo por medio de dispositivos móviles (Pocket PC Smartphone,). Esta nueva versión también permite el cálculo de los laterales de riego por goteo en zonas con distintas pendientes. Este software ha sido desarrollado con LabVIEW, que permite a los ingenieros e instaladores el cálculo de los diámetros comerciales que se utilizarán en los laterales de riego por goteo, sin necesidad de estar en el ordenador personal. Este software funciona con datos de entrada requeridos para hacer los cálculos como son caudales, número de goteros, el espaciamiento entre los emisores, presión media en el lateral y tolerancia media. Como resultado se muestran diámetros comerciales que pueden ser utilizados con diodos LED, las presiones máximas y mínimas para cada lateral, gráficas de comparación para tolerancias de presiones (URL 3).

- **IRRIMAKER**

Es un programa que combina una serie de herramientas para el cálculo de los datos de riego, está compuesto por una serie de funciones como la introducción de los datos, la

información topográfica, modelación y dibujo que combina los datos topográficos con todas las funciones de dibujo básico y avanzado.

El conjunto completo de herramientas de diseño de riego ha sido desarrollado para realizar diseños en forma rápida y eficaz, hacer los cálculos hidráulicos, dimensionar las tuberías, elaborar la lista de materiales y crear planos impresionantes. El módulo de diseño de riego ofrece funciones flexibles, que le permitirán producir diseños hidráulicos para áreas verdes, explotaciones agrícolas, minería o cualquier otra área donde se requiere el transporte de agua. El uso de este software requiere de un curso previo para poder utilizarlo ya que por sus numerosas herramientas, su interfaz gráfica (Fig. 2) tiende a ser un poco confusa al momento de empezar el diseño (URL 4).



**Figura 2. Ambiente gráfico Irrimaker.**

Fuente [www.Irrimaker.com](http://www.Irrimaker.com)

- **WCADI**

Con más de 30 años en el mercado, WCADI ofrece solución para el análisis de redes complejas de sistemas de riego y de tubería de agua potable, programado con las ecuaciones fundamentales de la hidráulica, muestra resultados precisos, así como la optimización de los diámetros de tuberías, recuento automático de herramientas.

WCADI cuantifica el caudal, filtración, tubería principal, tubería secundaria, conexiones de tubería, emisores y accesorios del sistema de riego. Permite importar y exportar archivos de autocad, lo cual permite proyectar una gran variedad de tipos de datos (URL 5).

- **GESTAR 2010**

Aporta nuevas funcionalidades y mejoras, entre las que se destaca la incorporación de la comunicación bidireccional con AUTOCAD 2002-2011, (Versiones PREMIUM) y la ampliación de prestaciones del módulo de regulación de estaciones de bombeo, que permite incorporar bombas de velocidad variable, iguales o distintas entre sí, trabajando sincronizadamente, a las mismas revoluciones, además de la operación secuencial de varias bombas de velocidad variable, iguales o distintas entre sí, ya implementada en anteriores versiones. GESTAR permite el chequeo de presión de tuberías de distribución y en el módulo (URL 6).

- **DIOPRAM 3.0**

Es un programa para el cálculo de redes de distribución ramificadas con un punto de ramificación, permite trazado, conectividad, cotas, longitud de líneas, caudal y presiones mínimas, costos de tuberías. La obtención de la solución óptima de diseño está basada en la aplicación de un modelo de programación con una función objetiva de tipo económico y restricciones funcionales, referentes tanto a las presiones de servicio como a otras variables hidráulicas, modelos que se ensamblan de forma de forma versátil para su adaptación a diferentes consideraciones en el diseño, como por ejemplo:

- ✓ Admite la aplicación de márgenes de seguridad en las presiones de trabajo seleccionadas en las tuberías.
- ✓ Permite una estimación muy precisa de los costos energéticos a partir de la aplicación de tarifas eléctricas, cuyos datos pueden ser actualizados por el usuario.

DIOPRAM es una aplicación que permite el diseño de redes de distribución de agua en zonas de nueva urbanización, áreas industriales y para redes de riego a presión (URL 7).



El aumento de las necesidades sociales por el agua y su relativa escasez está generando cada vez mayor competencia entre los usuarios de este recurso. Se estima que a nivel mundial la demanda de agua creció el triple en los últimos 50 años, tanto que la contaminación redujo su disponibilidad a un tercio; lo anterior se traduce en la generalización de conflictos entre una población cada vez más concentrada y sometida a la contaminación del agua y aire, y a una agricultura más productivista, contaminante y consumidora de agua (Bautista, 1997).

En la actualidad el material tecnológico está siendo implementado con más frecuencia en el área agrícola, el uso se enfoca hacia sistemas de posicionamiento global, las nuevas máquinas, los diferentes sensores, la confiabilidad de las muestras de suelo, el monitoreo de las cosechas, la agricultura de precisión, permite trabajar de forma más eficiente y por ende obtener mayor utilidad de los cultivos.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. RIEGO POR GOTEO**

#### **4.1.1. Definición**

El riego por goteo es un método de riego presurizado que se caracteriza por la aplicación frecuente del agua en forma de gotas mediante emisores ubicados a lo largo de la línea de distribución localizados en cada planta garantizando la humedad del suelo en la zona radicular, disminuyendo las pérdidas por conducción, evaporación y percolación (Holzapfel, 1998).

#### **4.1.2. Características**

El sistema permite mantener el suelo en condiciones de humedad óptima entre saturación y capacidad de campo, para alcanzar un buen desarrollo del cultivo y facilita labores como fertilización y aplicación de agroquímicos (Valverde, 2007). El riego por goteo humedece una superficie reducida de suelo conocida como bulbo húmedo, cuya forma y tamaño dependen de la textura del suelo, la descarga del gotero y del tiempo de riego.

Los sistemas de riego por goteo son fijos, lo que facilita el riego frecuente, así puede darse riego ligero a suelos con poca retención atenuando el riesgo de tensión a condiciones extremas (Lozada, 2005). Además reduce las necesidades de limpieza del suelo ya que hay pocas malezas, hay menos encostramiento del suelo y pocos problemas de compactación del suelo en comparación con otros sistemas de riego (Gurovich, 1985).

#### **4.1.3. Ventajas**

- **Eficiencia en el uso del agua**

Las pérdidas que presenta el método son mínimas. La evaporación es reducida ya que al estar el emisor sobre el suelo, las fuerzas capilares tienden a absorber el agua muy rápidamente, además que el área humedecida es pequeña como para producir altos

niveles de evaporación bajo un diseño adecuado que evite escurrimiento superficial (Holzapfel, 1998).

- **Topografía y Suelo**

El riego por goteo no presenta ninguna restricción de tipo topográfico para su establecimiento. Una de las mayores ventajas que presentan estos sistemas es precisamente el poder utilizarse en áreas con topografía muy heterogénea y con pendientes pronunciadas (Holzapfel, 1998).

- **Producción y calidad del producto**

Se ha encontrado que bajo riego localizado se obtienen mayores producciones y un incremento en la calidad del producto. Esto se asocia a que bajo riego por goteo se aplican los niveles de agua requerido por el cultivo lo cual permite a la planta un ahorro de energía sumado a la mayor cantidad de nutrientes que absorbe del suelo da la posibilidad de producir más frutos (Holzapfel, 1998).

- **Adaptación de sistemas de fertirrigación**

Ofrece la posibilidad de realizar fertilización día a día, exactamente a la medida de un cultivo o sustrato, además hace frente a posibles problemas de contaminación que pueden originarse por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo o sustrato (Cadahía, 2005).

#### **4.1.4. Desventajas**

- **Obturación de emisores**

La obturación de emisores, que es el problema más común en estos métodos de riego, se debe fundamentalmente a causas físicas, químicas y biológicas del agua de riego, a los sistemas de filtrado, el tipo de emisores. Por lo expuesto, un preciso análisis de la calidad del agua de riego es un factor importante para establecer un adecuado sistema de filtraje y la selección del tipo de emisor correcto (Avellaneda *et al.*, 2004).

- **Salinización del suelo**

La salinidad en zona radicular puede aumentar debido a que la planta extrae agua del suelo y la mayoría de las sales en solución no son absorbidas, lo que va provocando un aumento de la concentración de sales en los bordes del bulbo húmedo, que al evaporarse el agua deja una costra salina (Gurovich, 1985).

- **Elevado Costo Inicial**

Una de las principales y mayores desventajas que presenta el método es su alto costo inicial debido a que toda la instalación es de carácter permanente y requiere de una gran cantidad de accesorios para su adecuado funcionamiento (Holzapfel, 1998). Sin embargo, si se considera la vida útil del equipo su costo anual es prácticamente insignificante al compararlo con otros costos de operación del proceso productivo.

- **Distribución de la humedad del suelo**

Los sistemas de riego localizados sólo humedecen un porcentaje del volumen del suelo. El área humedecida dependerá de la descarga, el volumen aplicado en el riego y el tipo de suelo. Esto afecta el crecimiento radicular ya que este se ve limitado por al área húmeda alrededor de cada emisor (Gurovich, 1985).

- **Requerimientos Técnicos**

Los sistemas de riego por goteo requieren de una mayor capacidad técnica que otros métodos de riego, ya que las instalaciones modernas aplican agua y fertilizantes en forma simultánea. La mayoría de los actuales sistemas utilizan elementos electrónicos que requieren de cierta preparación del operador para obtener el máximo provecho de los niveles de automatización (Holzapfel, 1998).

## **4.2. PROCESO DE DISEÑO**

En un diseño de riego por goteo deben conocerse parámetros que determinan las restricciones a que debe someterse el proyecto como lo son las condiciones del terreno, tipo de suelo, localización, cantidad y calidad del agua disponible, tipos y ubicación de la energía, etc., con estos objetivos a cumplir y los datos de entrada, se realizan unas iteraciones que llevan a proyectar una instalación optimizada en su relación costo/prestaciones (Rodrigo *et al.*, 1992). El método para el cálculo de un sistema de riego por goteo según la metodología de Pizarro (1996), se basa en tres etapas que se explicarán a continuación:

### **4.2.1. Demanda hídrica**

El diseño de la demanda hídrica debe satisfacer las necesidades del cultivo en cada etapa de su desarrollo garantizando la máxima demanda. Esta se estima con base en el tipo de cultivo, los parámetros climáticos, las propiedades físicas del suelo y la dosis de riego a aplicar. Estos aspectos permiten estimar el volumen mínimo de suelo que se mojará para garantizar una eficiente nutrición hídrica y mineral (Rodrigo *et al.*, 1992).

- *Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)*

Los consumos de agua, o necesidades hídricas de un cultivo corresponden a su evapotranspiración en un determinado ambiente (Pereira *et al.*, 2010). Esta evapotranspiración es la suma de dos procesos, la transpiración de la cubierta vegetal (ET<sub>c</sub>) y la evaporación del agua del suelo (ET<sub>o</sub>). La ET<sub>o</sub> de los cultivos puede estimarse con base en registros climáticos periódicos, mediante modelos existentes, generalmente recurriendo al de FAO Penman-Monteith, con el cual se obtienen los valores consistentes con todas las regiones y climas (Santos, 2010).

- *Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)*

Es la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su desarrollo, este método combina la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) que al ser multiplicada con el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) se estima la evapotranspiración de cada especie cultivada (Santos, 2010).

**Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo.**

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Donde:

K<sub>c</sub> = Coeficiente del cultivo.

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

- *Evapotranspiración real (ET<sub>r</sub>)*

Es la evapotranspiración del cultivo corregida por un "efecto de localización" (K<sub>l</sub>) que se basa en la fracción sombreada que es el área de influencia de cada cultivo (Pizarro, 1996).

**Ecuación 2. Evaporación real.**

$$ET_r: ET_c * K_l$$

Donde:

K<sub>l</sub>: Coeficiente de localización.

ET<sub>c</sub> = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

- *Precipitación efectiva (P<sub>e</sub>)*

La precipitación efectiva es la parte de la lluvia que puede ser utilizada por los cultivos (Pizarro, 1996).

**Ecuación 3. Precipitación efectiva.**

$$P_e: P_m * \left( \frac{125 - (0,2 * P_m)}{125} \right)$$

Donde:

Pm: Precipitación media (mm).

- *Necesidades netas de riego (Nn)*

Diferencia entre la evapotranspiración real y la precipitación efectiva (Pizarro, 1996).

#### **Ecuación 4. Necesidades netas de riego.**

$$NnR = [ETc - Pe]$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva es igual a cero en un sistema RLAF (mm).

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

- *Necesidades de lavado (NL)*

Es la cantidad de agua necesaria para la corrección de suelos salinos (Jaramillo, 2010).

#### **Ecuación 5. Necesidades de lavado.**

$$N_L: \frac{CEi}{CEd}$$

Donde:

CEi: Conductividad eléctrica del agua de riego (ds/m).

CEd: Conductividad eléctrica del agua de drenaje (ds/m).

- *Eficiencia de aplicación (Ea)*

Porcentaje de agua aplicada que es almacenada en la zona radicular y que está disponible para las plantas. Para la estimación de la Ea (Tabla 1) se toman como referencia los mencionados por Pizarro (1996).

**Tabla 1. Eficiencia de aplicación para RLAF.**

<b>CLIMA</b>	<b>ÁRIDO</b>		<b>HÚMEDO</b>	
<b>Profundidad de raíces (cm)</b>	<b>&lt; a 75</b>	<b>75 – 150</b>	<b>&lt; a 75</b>	<b>75 – 150</b>
Suelos arenosos	0,90	0,90	0,75	0,80
Suelos medios	0,95	0,95	0,85	0,90
Suelos finos	0,95	1,00	0,90	0,95

- *Coeficiente de uniformidad (Cu)*

Hace referencia al grado de uniformidad del sistema en entregar y distribuir el agua. Para la estimación de Cu (Tabla 2) se toman como referencia los mencionados por Pizarro (1996).

**Tabla 2. Valores recomendados por Pizarro para coeficiente de uniformidad.**

Emisores	Pendiente	Cu	
		Clima árido	Clima húmedo
Emisores espaciados mas de 4m en cultivos permanentes	Uniforme (<2%)	0,90 – 0,95	0,80 – 0,85
	Uniforme u ondulada (>2%)	0,85 – 0,90	0,75 – 0,80
Emisores espaciados menos de 2,5m en cultivos permanentes o semipermanentes	Uniforme (<2%)	0,85 – 0,90	0,75 – 0,80
	Uniforme u ondulada (>2%)	0,80 – 0,90	0,70 – 0,80
Mangueras o cintas de exudación en cultivos anuales	Uniforme (<2%)	0,80 – 0,90	0,70 – 0,80
	Uniforme u ondulada (>2%)	0,70 – 0,85	0,65 – 0,75

- *Necesidades totales de riego (Nt)*

Volumen de agua a aplicar con el riego en el cual se debe tener en cuenta las pérdidas de agua y las necesidades de lavado (Pizarro, 1996).

#### **Ecuación 6. Necesidades totales.**

$$Nt = \frac{NnR}{Ea * Cu}$$

Donde:

NnR = Necesidades netas de riego (mm/día).

Ea= Eficiencia de aplicación.

Cu= Coeficiente de uniformidad.

- *Necesidades diarias (Nd)*

Cantidad de agua que la planta requiere en el día la cual involucra las necesidades totales, el espaciamiento entre emisores y espaciamiento entre plantas (Pizarro, 1996).

#### **Ecuación 7. Necesidades diarias.**



$$Nd = Nt * DES * DEP$$

Donde:

Nt: Necesidades totales de riego (mm/día).

DES: Distancia entre surcos (m).

DEP: Distancia entre plantas (m).

- *Caudal de flujo continuo (Qfc)*

El caudal de flujo continuo, se determina por la ecuación 8.

#### **Ecuación 8. Caudal de flujo continuo.**

$$Qfc = 0,1157[Nt * A]$$

Donde:

Nt: Necesidades totales (mm/día).

A: Área a cultivar (m).

- *Caudal de distribución (Q<sub>D</sub>)*

El caudal necesario para la distribución se halla por medio de la ecuación 9.

#### **Ecuación 9. Caudal de distribución.**

$$Q_D = \frac{Qfc * 24}{JR}$$

Donde:

JR = jornada de riego (h).

### **4.2.2. Diseño agronómico**

El diseño agronómico es la parte del proyecto en la cual se decide una serie de elementos de instalación tales como el número de emisores, disposición de los mismos, etc. Además proporciona datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como el caudal por emisor y planta, duración del riego, etc. (Pizarro, 1996).

En cada caso el número de emisores y el caudal serán diferentes en función de las propiedades del suelo y de la dosis de riego a aplicar, así pues su cálculo, su caudal y su

correcta disposición son los aspectos más importantes de esta fase del diseño (Rodrigo *et al.*, 1992).

- *Porcentaje de área a mojar (%P)*

Se establece un volumen mínimo de suelo a humedecer, para su cálculo se toma el método mencionado por Pizarro (1996).

- ✓ Cultivos Arbóreos: 33 - 50%
- ✓ Cultivos Herbáceos: 50 – 70%

- *Rango de profundidad bulbo húmedo (Pb)*

El bulbo húmedo es la parte del suelo humedecida por el emisor, la dimensión y la forma depende del caudal del emisor, el tiempo del riego y tipo de suelo (Santos *et al.*, 2010).

Se establece un rango de Pb que no sea menor a un 90% de la profundidad de raíces y no mayor a 120% de la misma (Pizarro, 1996).

**Ecuación 10. Rango de profundidad bulbo húmedo.**

$$Pb = [(0,9 * Pr), (1,1 * Pr)]$$

Donde:

Pr: Profundidad de raíces (m).

- *Prueba del bulbo húmedo*

La prueba del bulbo húmedo consiste en medir el porcentaje de área humedecida por el gotero con un caudal específico, y se hace por ensayos en campo donde se usan goteros con diferente caudal, se hace un corte vertical al suelo, y se toman datos correspondientes a diámetros y profundidades.

- *Área mojada por un emisor (Ae)*

El área mojada por un emisor se debe estimar a partir de pruebas de campo, esto produce una imagen real de la forma del bulbo húmedo y si garantiza el rango para la profundidad de raíz de cada cultivo (Santos *et al.*, 2010).

**Ecuación 11. Área mojada por el emisor.**

$$Ae = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde:

d: Diámetro de humedecimiento tomado en las pruebas del bulbo húmedo (m).

- *Emisores por planta (e)*

El número de emisores por planta está en función de la profundidad de bulbo, marco de plantación y el área mojada por el emisor. El número de emisores debe garantizar un solape del 15 al 30 % del radio de humedecimiento (Pizarro, 1996).

**Ecuación 12. Emisores por planta.**

$$e > \frac{P(\%) * DEP * DES}{100 * Ae}$$

Donde:

P: Porcentaje de área a mojar (%).

DEP: Distancia entre emisores (m).

DES: Distancia entre surcos (m).

Ae: Área mojada por un emisor (m<sup>2</sup>).

- *Frecuencia de riego (Fr)*

Determina el número de días que necesita el cultivo para agotar la lámina neta de riego. Está en función del número de emisores, volumen aplicado y necesidades diarias del cultivo (Pizarro, 1996).

**Ecuación 13. Frecuencia de riego.**

$$Fr = \frac{e * Va}{Nd}$$

Donde:

Fr = Intervalo de riego (días)

Va = Volumen aplicado en la prueba (L)

Nd = Necesidades diarias (L/PI-día)

- *Tiempo de riego (Tr)*

Es el tiempo necesario para regar o aplicar el agua al suelo para los cultivos. Está en función de la frecuencia de riego, Necesidades diarias, número de emisores, y el caudal de cada emisor (Pizarro, 1996).

**Ecuación 14. Tiempo de riego.**

$$t_r = \frac{Nd * Fr}{e * qe}$$

Donde:

t<sub>r</sub> = Tiempo de riego (horas)

Nd = Necesidades diarias (L/día)

Fr = Intervalo de riego (días)

qe = Caudal del emisor (L/hora)

- *Separación de emisores (Se)*

Es la distancia mínima en la que deben estar separados los emisores para que garanticen el solape entre el 15% y 30% del radio de humedecimiento de el emisor (Pizarro, 1996).

**Ecuación 15. Separación entre emisores.**

$$S_e = \frac{d}{2} \left[ 2 - \frac{a}{100} \right]$$

Donde:

S<sub>e</sub> = Separación máxima entre emisores (m)

d = Diámetro húmedo (m)

a = Porcentaje de traslape (valor entre 15 a 30%)

#### 4.2.3. Diseño hidráulico

En esta fase se realizarán los cálculos hidráulicos para definir las condiciones límites para las cuales funcionara el sistema. Una vez diseñada la instalación y comprobado su funcionamiento dentro de los límites fijándose procederá a definir tipo de materiales, timbrajes y dimensiones (Rodrigo *et al.*, 1992)

Todos estos cálculos se realizarán partiendo desde el final y avanzando hacia la toma de agua. Es decir, se calcularán primero las presiones y caudales de entrega de las subunidades de riego y se continuará con las tuberías secundarias hasta llegar a las primarias y terminar en el cabezal (Rodrigo *et al.*, 1992).

- *Tolerancia de Caudales*

Es el caudal mínimo del emisor en el módulo. Se calcula considerando inicialmente la tolerancia de caudales en el módulo a partir del emisor elegido, la cantidad de estos por planta y el CU correspondiente.

#### **Ecuación 16. Tolerancia de caudales.**

$$qns = \frac{Cu * qe}{\left(1 - \frac{1,27 * CV}{\sqrt{e}}\right)}$$

Donde:

qns = Caudal mínimo en el modulo (L/h).

CV = Coeficiente de variación (dado por el fabricante  $\approx 0.10$ )

qe = Caudal nominal del emisor (L/h)

- *Tolerancia de presiones ( $h_a$ ,  $h_{ns}$ ,  $\Delta H$ )*

Con los valores de Caudal del emisor y la tolerancia de caudales, así como la ecuación del emisor, se calculan las presiones medias ( $h_m$ ) y mínima ( $h_{ns}$ ), en el módulo. El gasto de un emisor en el RLAF, esta dado por:

#### **Ecuación 17. Ecuación general del gotero.**

$$q = Kh^x$$

$$h = \left(\frac{q}{K}\right)^{1/x}$$

Donde

q= Caudal del emisor (L/h)

K = Coeficiente de descarga

h = Presión de entrada del emisor (mca)

x = Exponente de descarga

#### **Ecuación 18. Ecuación para el diferencial de presiones.**

$$\Delta H = 2,5 * (hm - hns)$$

Donde:

Hm: Presión media del módulo.

Hns: Presión crítica del lateral crítico

- *Pérdidas en el lateral medio, crítico y múltiple (hf)*

Primero se determina el Número de Reynolds, para estimar el régimen de flujo, a partir de la siguiente expresión:

#### **Ecuación 19. Número de Reynolds**

$$Re = 352,64 * \frac{q}{D}$$

Donde:

q: Caudal en el lateral (L/h)

D: Diámetro tubería (mm)

A partir de Re, se determina la ecuación para hallar las pérdidas unitarias por fricción (**J**), como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. Pérdidas unitarias por fricción.**

Régimen	Re	J(m/m)
Laminar	<2000	$J = 1.16 \frac{q}{d^4}$
Transición y Turbulento liso	2000 – 100000	$J = 0.473 * \frac{q^{1.75}}{d^{4.75}}$

Luego de estimar el J, se estima el coeficiente **F** de Christiansen, para compensar las salidas del agua a lo largo del lateral, mediante la siguiente expresión:

**Ecuación 20. Coeficiente Christiansen (F).**

$$F = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{6n^2}$$

Donde:

n = Número de emisores en el lateral.

$\beta = 1.75$ , Para riego localizado

Como los goteros que se van a utilizar son interlínea, el factor de pérdida en la conexión del emisor y la tubería (S), se determina de la siguiente forma:

**Ecuación 21. Factor de pérdida en la conexión (S).**

$$S = \frac{Se + fe}{Se}$$

Donde:

Se= Separación entre emisores

fe= 0.23

Para hallar las pérdidas de presión en el módulo se utiliza el siguiente esquema de la Figura 3 y las Ecuaciones 22, 23 y 24 respectivamente.

**Ecuación 22. Ecuación para las pérdidas de energía en el lateral del módulo de riego.**

$$hf = J * F * L * S$$

**Ecuación 23. Ecuación para pérdidas de energía en el lateral medio del módulo de riego.**

$$hm: ha + 0.733 hf$$

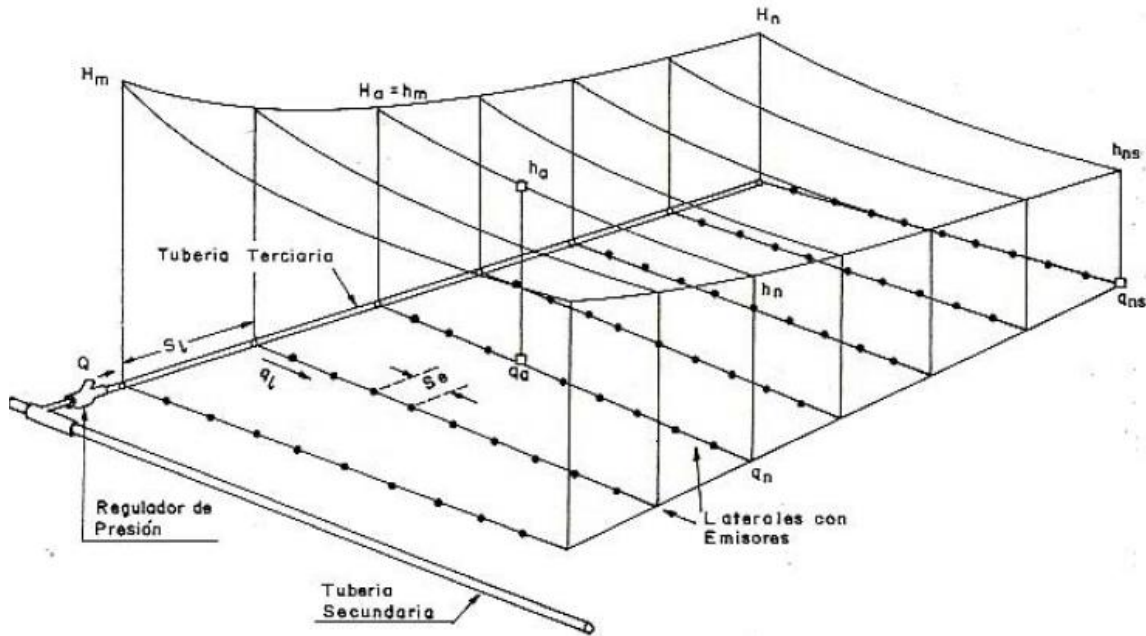
Ha: hm del lateral medio.

**Ecuación 24. Ecuación para pérdidas de energía en el múltiple del módulo de riego.**

$$Hm: ha + 0.733 hf$$

$$Hn: Hm - hf$$

Ha: hm del lateral medio.



**Figura 3. Esquema de distribución de presiones en el módulo.**

**Fuente Pizarro, 1996.**

Para hallar la presión en el lateral crítico se utiliza la ecuación 25.

**Ecuación 25. Ecuación para pérdidas en el lateral crítico.**

$$h_{mc}: h_{ac} + 0.733 h_f$$

$$h_{nc}: h_{mc} - h_f$$

Donde

$h_{mc}$ : Es el  $h_n$  del múltiple

- *Chequeo de tolerancia de presiones*

Se realiza para garantizar que los emisores proporcionen el caudal medio  $q_{med}$  (Rodrigo *et al.*, 1992). Se aplica la ecuación 26.

**Ecuación 26. Tolerancia de presiones.**

$$h_{nc} - H_m \leq \Delta H$$

Donde:

$h_{mc}$ : Presión mínima del lateral crítico.

$H_m$ : Presión de entrada del múltiple.

$\Delta H$ : tolerancia de presiones.

Si no se cumple con las anteriores expresiones, se debe rediseñar con un diámetro mayor al utilizado en los cálculos.



- *Pérdidas por conducción de tubería en la red*

Se puede calcular de muchas formas una de ellas es la de HAZEN – WILLIAMS definida por la fórmula:

**Ecuación 27. Pérdidas por conducción en la red.**

$$Hf = \left[ \frac{Q}{(0.2785 * j * C * \varnothing^{2.63})} \right]^{1.85} * L$$

Donde:

Q = Caudal.

C = Coeficiente para tipo de material de tubería y de acuerdo al tiempo de uso.

Ø = Diámetro de la tubería (m).

J = Pérdida en función de la longitud. (Hf/L).

Donde la velocidad en la tubería debe estar en un rango de 1-2 m/s.

- *Cabeza dinámica total (CDT)*

La CDT es la presión mínima en m.c.a. que debe de operar la bomba en el momento del bombeo para el normal funcionamiento del sistema.

**Ecuación 28. Cabeza dinámica total.**

$$CDT = Hf_s + Hf_I + Hs + H_{CM} + Hm$$

Donde:

Hf<sub>s</sub> = Pérdida en la tubería de succión

Hf<sub>I</sub> = Pérdida en la tubería de impulsión

Hs = Altura estática de succión

Hm = Presión requerida por el módulo

Hcm = Presión requerida por el cabezal de módulo

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. SISTEMATIZACIÓN DE PROCESOS

Se deben tener en cuenta parámetros indispensable para cualquier diseño de riego, estos se clasificarán como datos de entrada, datos de entrada y salida, y datos de salida.

- *Datos de entrada* son los datos de partida de cualquier diseño característicos del cultivo y de la zona donde se cultivará. Como factores climáticos, tipo de cultivo etc.
- *Datos de entrada y salida* son los datos que al ser calculados servirán para el cálculo de otros parámetros del diseño, también son los que lo modifican y los más relevante, son datos conectores.
- *Datos de salida* son datos finales de cada etapa que no son conectores y que si modificó datos no afectó los otros cálculos, pero son parte importante del diseño y programación del riego.

La relación de entrada y salida de datos de los módulos se presenta en la Tabla 4 y la Figura 4.

**Tabla 4. Datos para el diseño de riego por goteo.**

ETAPA	DATOS DE ENTRADA	DATOS DE SALIDA
DEMANDA HÍDRICA	Tr, Hr, Bs, Vv, Kc, Área, Eto, $P_{75\%}$ , CEi, CEd, ETr, Ea, CU, Pe, Nnr, NL, Nt, Nd, DES, DEP, Jr, Etc	Qfc, Qd
DISEÑO AGRONÓMICO	Nd, %p, d, Pb, Pr, qe, de, Ae	Pb, e, Fr, tr, Se
DISEÑO HIDRÁULICO	CV, qa, CU, He, e, Re, DEP, DES, Ql, Qm, Dl, Dm, Ha, C, Lm, Ll	qns, Δh, Hf, CDT



## **5.2. HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN**

La programación del software se realizó en lenguaje java, en NetBeans 7.0.1 que es un Desarrollador de Ambientes Integrados de java (IDE, Integrated Development Environments).

NetBeans es IDE de código abierto para desarrolladores de software. Todas las herramientas necesarias para crear aplicaciones profesionales de escritorio, empresariales, web y aplicaciones móviles con la plataforma Java, así como con C / C + +, PHP, JavaScript y Groovy. Introduce soporte para JavaFX 2.0, así como herramientas para la depuración visual de Swing y las interfaces de usuarios JavaFX. Otros puntos destacados incluyen el apoyo Git integrado en el IDE (URL 8).

El proyecto de NetBeans está apoyado por una comunidad de desarrolladores y ofrece una amplia documentación y recursos de capacitación, así como una gran cantidad de plugins de terceros. Es un sistema modular basado en estándares de entorno de desarrollo integrado (IDE), escrito en el lenguaje de programación Java <sup>™</sup>. El proyecto NetBeans consiste en un IDE de código abierto con todas las funciones escritas en el lenguaje de programación Java y una rica plataforma de aplicaciones para el cliente, que se puede utilizar como marco genérico para crear cualquier tipo de aplicación (URL 9).

La Plataforma NetBeans es una base modular y extensible usada como una estructura de integración para crear aplicaciones de escritorio grandes. Empresas independientes asociadas, especializadas en desarrollo de software, proporcionan extensiones adicionales que se integran fácilmente en la plataforma y que pueden también utilizarse para desarrollar sus propias herramientas y soluciones.

La plataforma ofrece servicios comunes a las aplicaciones de escritorio, permitiéndole al desarrollador enfocarse en la lógica específica de su aplicación. Entre las características de la plataforma están (URL 10):

- Administración de las interfaces de usuario (ej. menús y barras de herramientas)
- Administración de las configuraciones del usuario

- Administración del almacenamiento (guardando y cargando cualquier tipo de dato)
- Administración de ventanas
- Framework basado en asistentes (diálogos paso a paso)

### **5.3. PROCESO DE PROGRAMACIÓN**

Para hacer una interfaz más amigable con el usuario se decidió dividir el diseño en tres paneles lo que corresponde a las tres etapas del diseño por goteo, cada panel contiene las funciones equivalentes para cada etapa de diseño, no se mostrará en detalle los códigos utilizados pero si diagramas de flujo donde se muestre la lógica seguida por los algoritmos utilizados para la programación.

- **Demanda hídrica**

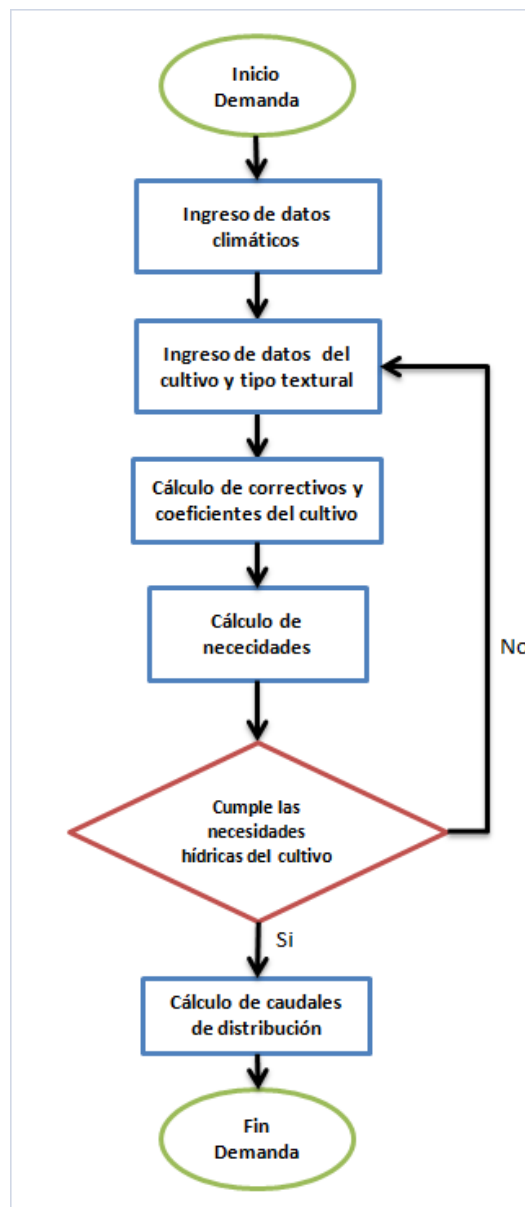
En esta etapa la secuencia de los cálculos comienza con la introducción de los datos de la estación climatológica, seguido por las consideraciones de siembra y cultivo. Se diseñan los métodos siguiendo una línea de cálculos, los cuales dependiendo del evento toman decisiones lógicas introducidas en el código de acuerdo con la metodología de Pizarro (1996), utilizada para el diseño, por ejemplo la eficiencia de aplicación y el coeficiente de uniformidad, que normalmente en un diseño se estima, en el software se calculará. Se muestra la secuencia de los cálculos en la Fig. 5.

- **Diseño agronómico**

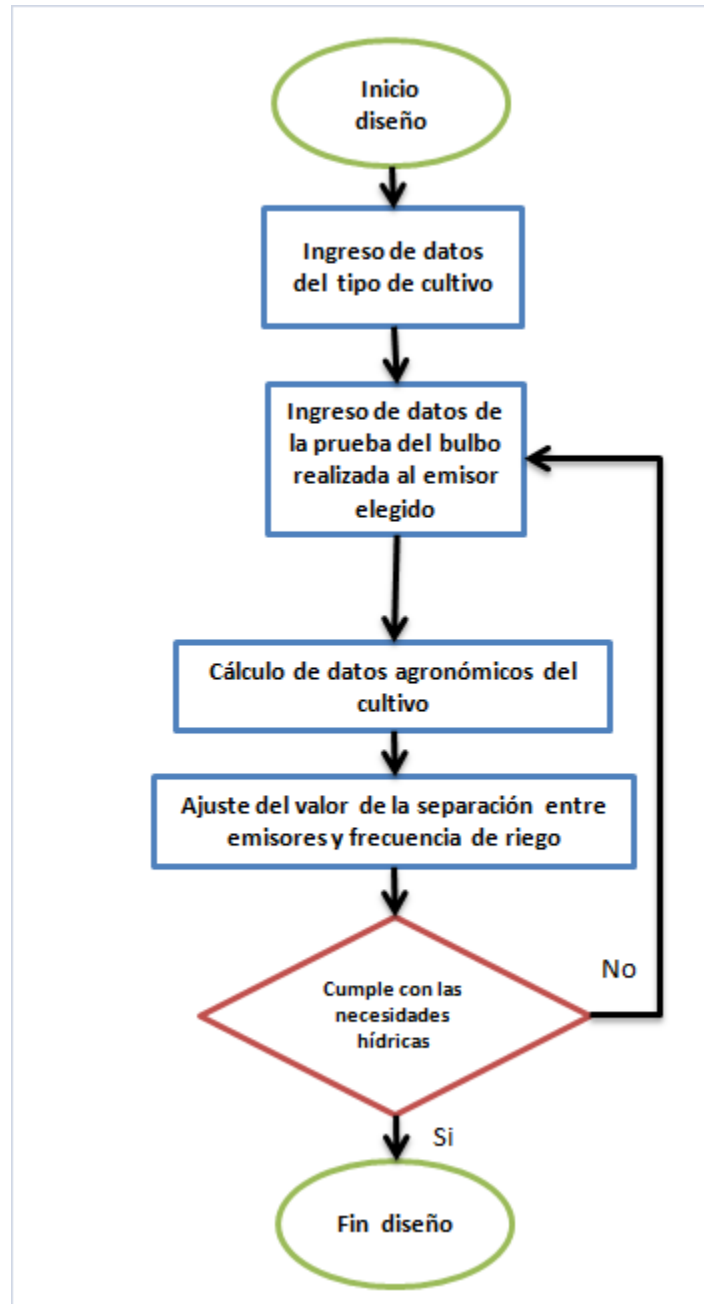
En esta etapa los cálculos comienzan con los eventos de tipo de cultivo y porcentaje de traslape, los únicos datos que se ingresan son el caudal del emisor, que previamente se debe escoger basado en las necesidades hídricas de la planta y este se debe acompañar con una prueba de bulbo húmedo realizada en la zona donde se está diseñando el sistema de riego, para saber cuál es el diámetro de humedecimiento del emisor y el volumen que aplica en un intervalo de tiempo determinado que garantice recubrir en su totalidad la zona de raíces de la planta. La secuencia de los cálculos se muestra en la Fig. 6.

- **Diseño hidráulico**

En este módulo la secuencia de cálculos inicia con el parámetro del caudal del emisor, pasando por todas las especificaciones de este, como la ecuación entregada por el fabricante la cual debe contener el coeficiente de descarga y la constante de la ecuación, el fabricante también debe suministrar el dato de el coeficiente de variación, con estos datos se verifican las tolerancias de caudal y la presión nominal así como la tolerancia de presiones (Fig. 7).



**Figura 5. Secuencia de datos de la demanda hídrica.**



**Figura 6. Secuencia de cálculos del diseño agronómico.**

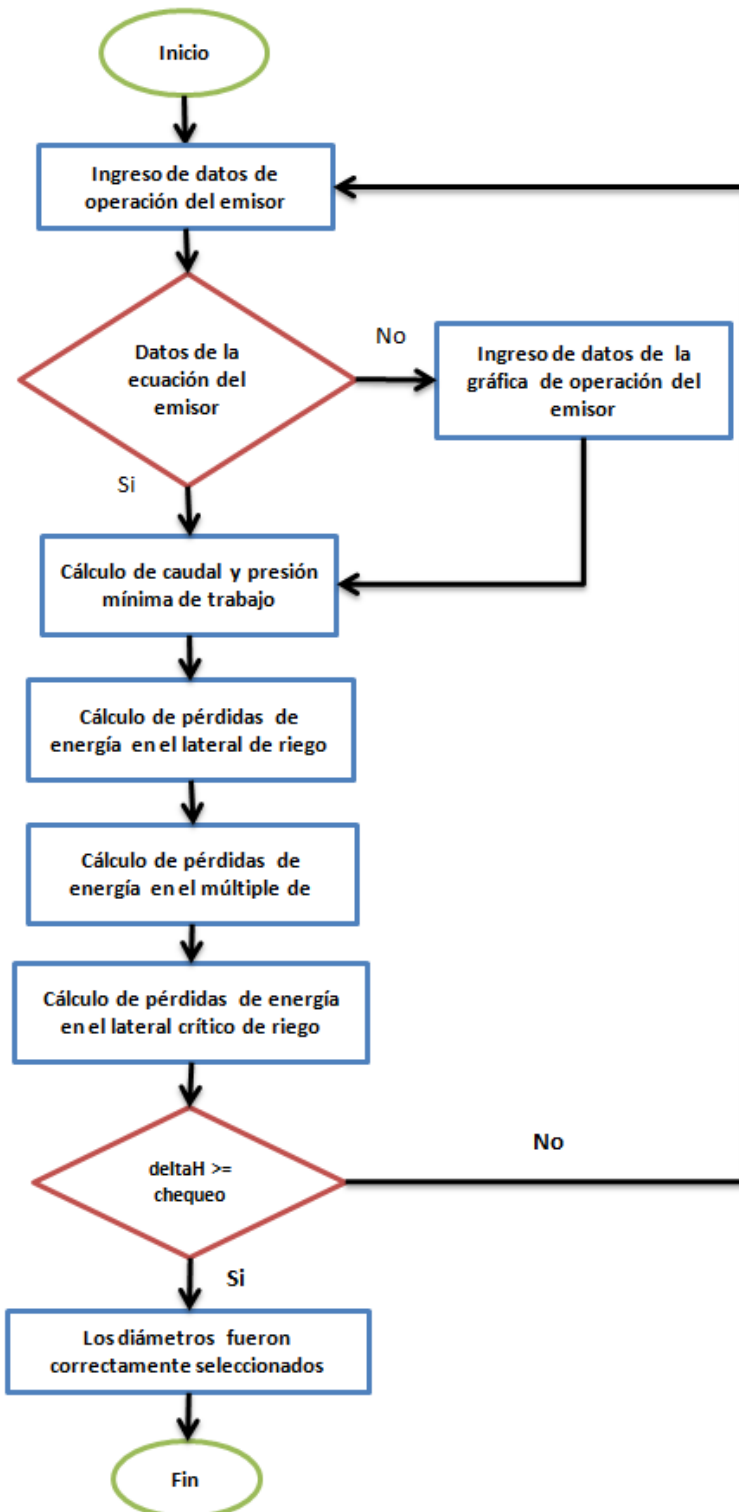


Figura 7. Secuencia de cálculos del diseño hidráulico.



## **6. RESULTADOS**

### **6.1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE**

UDRIP es una herramienta para el diseño de riego por goteo a nivel predial, fácil de utilizar, con resultados claros y de fácil interpretación, lo cual permite hacer el cálculo por módulos de riego, verificar variación de presiones y de caudales, diámetros de tubería, tiempos de riego y necesidades de riego diarias, se puede utilizar con cualquier cultivo ya sean de alto o bajo porte o si se utilizan cintas o mangueras de riego.

UDRIP está conformado por tres módulos de diseños independientes que interactúan entre sí, cada uno de los módulos debe cumplir con ciertas características mínimas para lograr la funcionalidad del conjunto.

#### **6.1.1. Ventajas del software**

Se hace una comparación del software UDRIP frente a otros mencionados anteriormente y se encuentran las siguientes ventajas:

- Permite el cálculo de las demandas por separado: Demanda hídrica, diseño agronómico y el diseño hidráulico.
- Realiza los cálculos de las necesidades diarias del cultivo, del caudal de distribución, frecuencia de riego y tiempo de riego.
- Permite verificar las presiones en el módulo.
- Permite la diferenciación de tipos de cultivo, de tipo de conexiones, porcentaje de traslape, tamaño del emisor.
- Aplicable para todo tipo de cultivo.
- Permite ver los errores de cálculo oportunamente.
- Ambiente gráfico agradable.

## 6.2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SOFTWARE

Para empezar a utilizar el programa se deben tener los datos climatológicos de la zona de estudio, el diseño del módulo y se debe de tener la prueba de bulbo húmedo para poder escoger el gotero adecuado. Esta prueba debe de ser lo más precisa posible, ya que de su exactitud dependen muchos de los valores a calcular. Se sugiere acompañar este programa con otros ya conocidos como: **CROPWAT** para el cálculo de la ETc y de **EPANET** para el cálculo de las redes de conducción, ya que **UDRIP** sólo se encarga de los parámetros del módulo.

### 6.2.1. Primer módulo

El primer paso para usar UDRIP es el panel de la demanda hídrica, en este panel se encuentran los datos climatológicos de la zona, además los datos de Ea y de Cu se calculan de acuerdo a la metodología de diseño de Pizarro (1996) (Fig. 8).

**Figura 8. Interfaz gráfica primera etapa.**

Se debe escoger si se trabajará con goteros o cintas (Fig. 9).

dia		C	Gotero		CEs
raic...		cm	Gotero		Área
			Cinta		

**Figura 9. Selección gotero.**

El dato del área que se pide es el área del módulo a regar (Fig. 10).

Ea	0.9	CEs	1.2	dS/m
		Área	1	Ha

**Figura 10. Ingreso de datos.**

Se debe ingresar la jornada de riego (Fig. 11).

N totales	5.47	mm / día	JR		h
N diarias	2.74	l / pl'día	Caudal de distribución		l/h

**Figura 11. Ingreso de datos.**

### 6.2.2. Segundo módulo

En la etapa de diseño agronómico se debe tener en cuenta el cultivo a utilizar y la prueba de bulbo para poder ingresar los valores del diámetro humedecido por el emisor (Fig. 13). Con el emisor ya escogido se ingresan los datos (Fig. 12).

Se debe tener en cuentas las unidades que se manejan para los cálculos

Cultivo Denso	Porcentaje de traslape	15 %
Caudal de emisor	4	l/h
Diámetro humedecido por el emisor	0.5	m
Volúmen aplicado	4	L

**Figura 12. Datos del emisor.**

UDRIP

DEMANDA HÍDRICA **DISEÑO AGRONÓMICO** DISEÑO HIDRÁULICO RESULTADOS

Cultivo Herbáceo  Porcentaje de Área a mojar 70 %

Cultivo Denso  Porcentaje de traslape 15 %

Caudal de emisor  l/h

Diámetro humedecido por el emisor  m

Tiempo requerido para alcanzar la profundidad del bulbo  h

Volúmen aplicado para la profundidad de la humedad requerida  L

Área mojada por el emisor  m<sup>2</sup>



Número de emisores por pl...

Separación entre emisores  m Separación ajustada  m

Frecuencia de riego  Días Frecuencia ajustada  Días

Tiempo de riego  h


Univalle 2012

**Figura 13. Interfaz gráfica diseño agronómico.**

Cuando se completa el panel con los datos del emisor, el programa arroja los resultados (Fig. 14).

Área mojada por el emisor	<input type="text" value="0.2"/>	m <sup>2</sup>
Número de emisores por pl...	<input type="text" value="2.0"/>	
Separación entre emisores	<input type="text" value="0.5"/>	m
Frecuencia de riego	<input type="text" value="3"/>	Días
Tiempo de riego	<input type="text" value="1.0"/>	h



**Figura 14. Datos del diseño agronómico.**

### 6.2.3. Tercer módulo

En la etapa de diseño hidráulico pasamos a decidir diámetros de tuberías (Fig.15), lo que conduce al diseño final. Esta etapa comienza con los datos del emisor para esto se debe conocer la ecuación del emisor o en su defecto, se debe calcular basado dos pares de datos de (q,h) tomados de la gráfica del emisor dada por el fabricante (Fig. 18).

**Figura 15. Interfaz gráfica diseño hidráulico.**

El coeficiente de variación, junto con la ecuación del emisor, los suministra el fabricante.

Gotero		Ecuación	
Caudal	4 L/h	K	1.15
Presión	12.1 Psi	X	0.5
No. Goteros	2.0 Und.	qns	3.43
Cv	0.1		

El número de goteros es el calculado en la etapa de diseño agronómico.

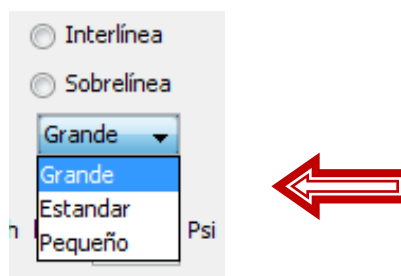
**Figura 16. Datos de la ecuación del emisor.**

En este caso la Ecuación 17. Del emisor utilizado para el ejemplo es

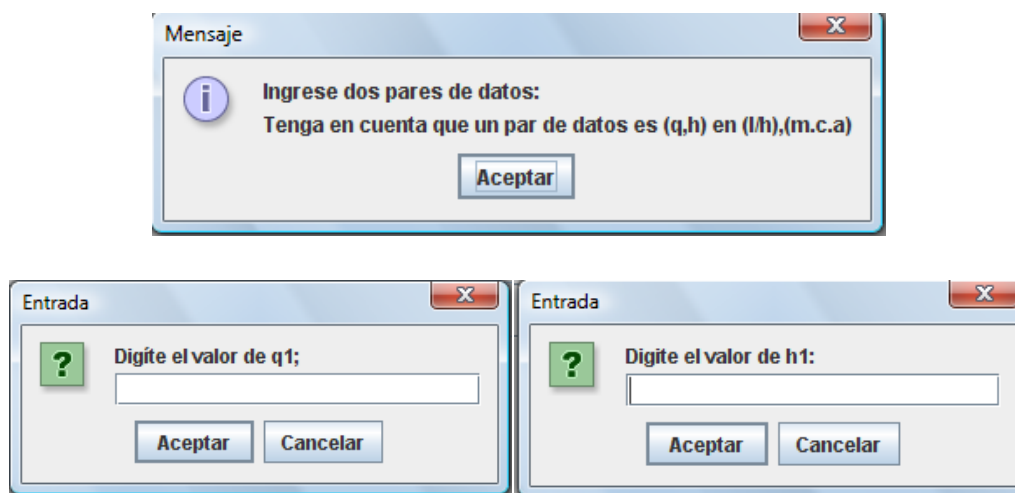
$$q_e = kh^x$$

$$q_e = 1.15h^{0.5}$$

Se debe especificar mediante una selección como será el tipo de conexión que tendrán los emisores, si son interlínea ó sobrelínea y si es sobrelínea como es su tamaño, el cual sale en un menú desplegable (Fig. 17). Para el ingreso de los datos para el cálculo de las constantes se debe tener dos puntos de la curva del emisor (Fig. 18).



**Figura 17. Desplegable tamaño emisor.**



**Figura 18. Ingreso de datos para la ecuación del emisor.**

Con estos datos se calculan datos de tolerancias de presión y caudal (Fig. 19).

Diagram illustrating the input fields for minimum flow, pressure, and head loss in the module.

Inputs shown:

- Caudal mínimo en el modulo. (qns): 3.43 L/h
- Presión mínima en el modulo. (hns): 8.87
- Perdidas mínimas en el modulo. ( $\Delta H$ ): 8.06 Psi

**Figura 19. Datos de las tolerancias.**

Se realizan los cálculos de caudales y presiones en el lateral y en el múltiple, ingresando los datos de las longitudes y los diámetros teniendo en cuenta las unidades métricas manejadas para cada caso (Fig. 20).

Lateral Medio			Múltiple		
Longitud	60	m	Longitud	48	m
Diámetro	16	mm	Diámetro	4	in
Caudal L	120.0	l/h	Caudal M	5760.0	l/h
hf	0,0003		Hf	0,0104	
hm	12,1002		Hm	12,1079	
			Hu	12,0975	

**Figura 20. Datos para cálculo de caudales y presiones.**

Por último se realiza el chequeo de la presión y la presión en el lateral crítico (Fig. 21).

**Lateral Crítico**

huc: 12.09

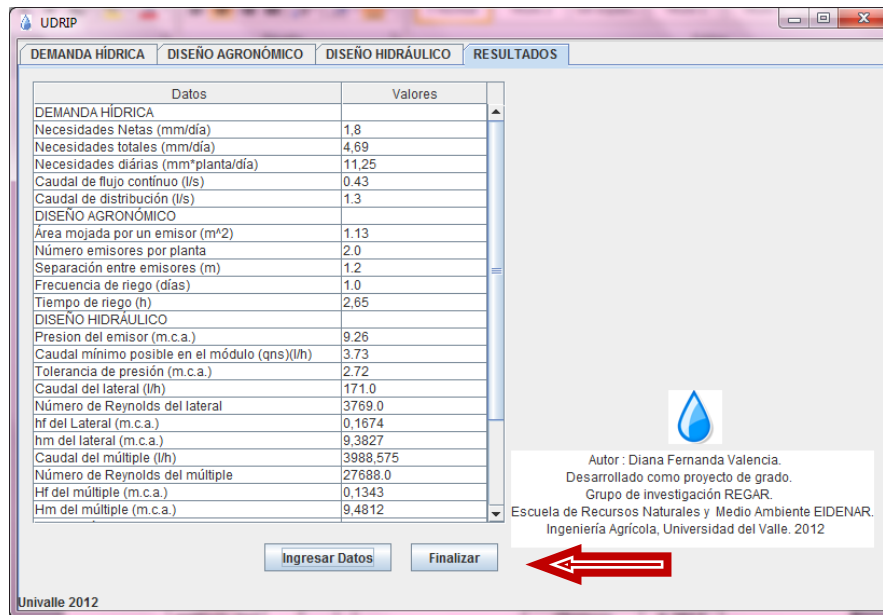
**Chequeo de presiones**

$\Delta H \geq (Hm - huc)$

8.06  $\geq$  0,0209

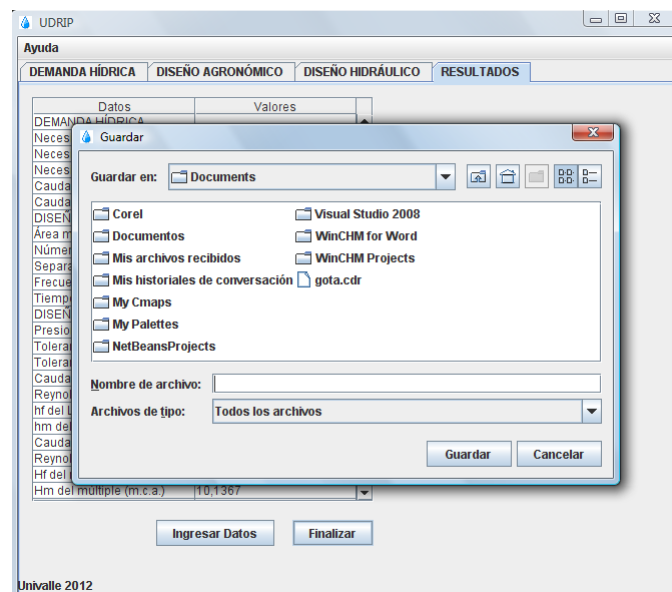
**Figura 21. Chequeo de presiones.**

Al final de los cálculos UDRIP nos muestra un texto donde nos indica si los datos del diseño son óptimos. En un cuarto panel podemos ver una tabla donde se cargarán los datos al ser presionado el botón ingresar datos (Fig. 22).



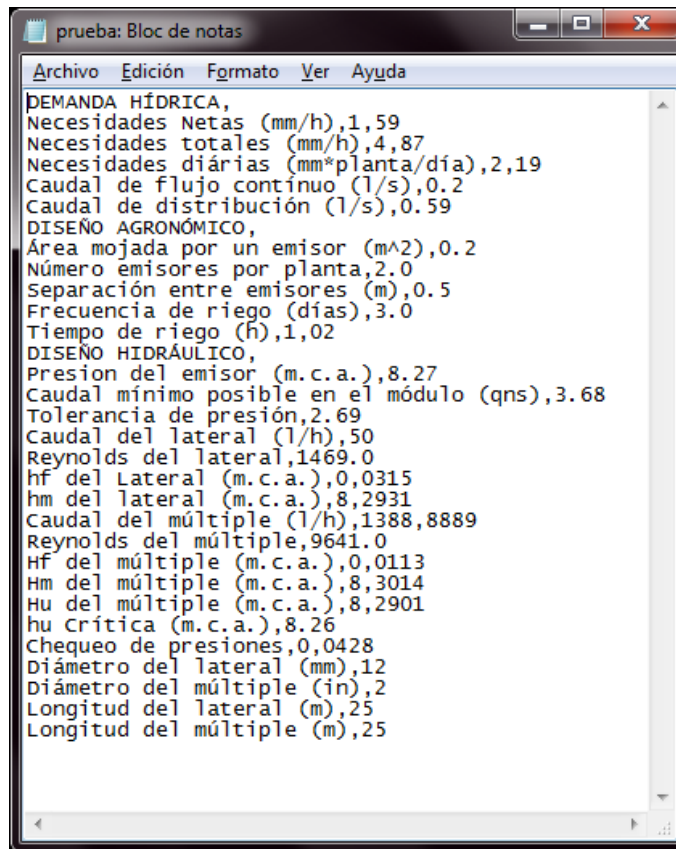
**Figura 22. Tabla de datos del proyecto.**

Y para guardar los datos se debe presionar el botón finalizar el cual nos mostrará un cuadro de selección donde nos permite escoger donde guardar el archivo (Fig. 23). Este archivo es guardado en .txt, pero este se puede abrir en un documento de Microsoft Word (Fig 24).



**Figura 23. Cuadro de selección para guardar.**





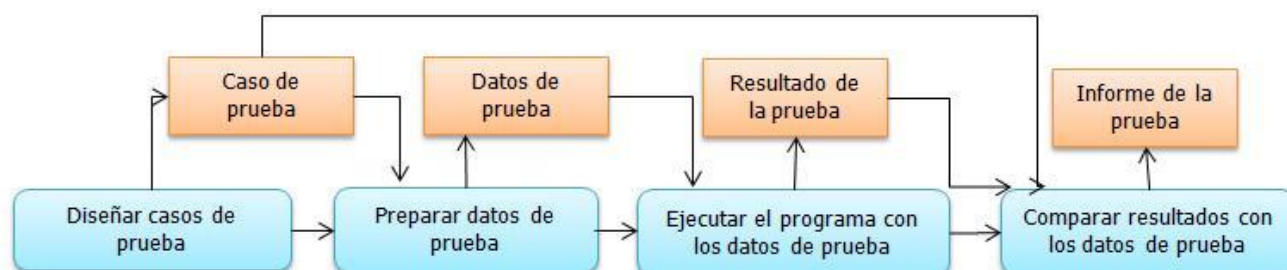
**Figura 24. Archivo final.**

### **6.3. Pruebas y análisis de resultados**

Para la prueba del software se tomaron datos de trabajos realizados para la asignatura de Sistemas de Riego de Alta Frecuencia (RLAF), dictada en la Universidad del Valle, para la unidad académica de Ingeniería Agrícola; los resultados corresponden a los diseños para:

- Finca "Villa Hermosa" Palmira – Valle (Tabla 5).
- Parcela "Benitez" Vereda la Atuncela Dagua-Valle (Tabla 6).
- Finca "El carajo" Ubicada en Guacarí – Valle (Tabla 7).
- Lote "El Ingenio" Ubicado en la Universidad del Valle (Tabla 8).
- Finca "Don Tulio" Guacarí-Valle (Tabla 9 y Tabla 10), para esta finca se realizaron diseños para dos cultivos diferentes.

Se utiliza el modelo de prueba de sommerville, 2005. Para el software debe haber al menos una prueba de cada requerimiento del sistema y del usuario, que se incorporarán en la entrega del producto en la que se compruebe formalmente que el software entregado cumple con las especificaciones (Fig. 25).



**Figura 25. Esquema del proceso de prueba del software.**

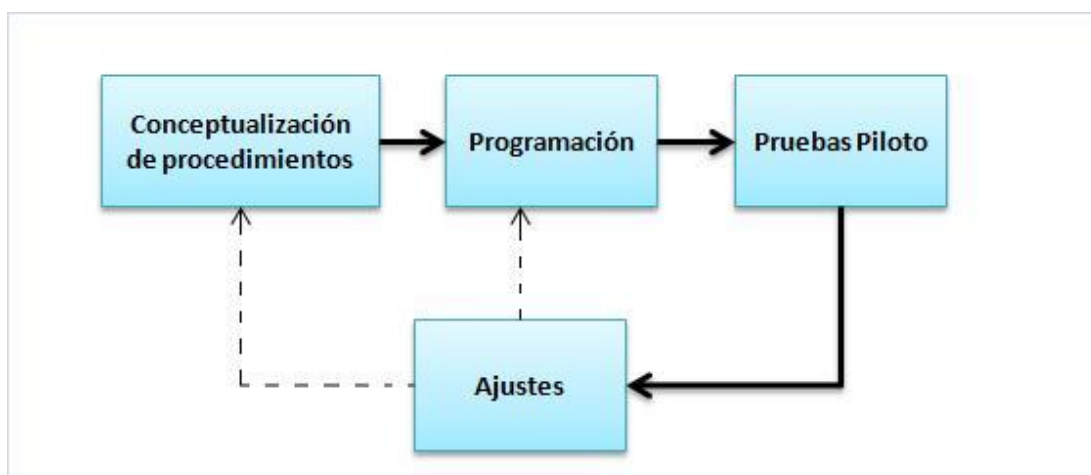
Fuente: Sommerville, 2005.

De acuerdo a el método las pruebas consistieron en el ingreso de los datos originales del diseño y comprobar resultados (Ver **Anexo 1**), después se empezó a probar como variaban los resultados de acuerdo a los datos que se modificaban, ejemplo la jornada de riego, el diámetro de las tuberías, el porcentaje de área a regar, el caudal del emisor, el volumen aplicado etc. Obteniendo respuestas inmediatas en los cálculos, y evitando ser editados una vez realizado la acción, dejando habilitados los campos que solo serán editados si es necesario recalcular. Para cada prueba el tiempo máximo de la introducción de los datos oscilaba entre 3 y 4 minutos, lo cual cumple con uno de los objetivos que era el ahorro del tiempo de diseño.

Para la mayoría de las pruebas realizadas se evidenció que, cuando se calculan pérdidas de presión en hojas de cálculo o paso a paso, se tienden a cometer muchos errores de programación de las formulas ya que al momento de la comparación de los datos se puede observar que las pérdidas calculadas con UDRIP, son mucho menores a las registradas en dichos documentos. Durante las pruebas se evidenció el uso obligatorio del punto a la hora de la introducción de datos por parte del usuario ya que, debido al modo de programación, la introducción de una coma induce a un error y el programa no calcula los datos dejando la etiqueta en blanco.

#### 6.4. Ajustes

Se realizaron las correcciones de las fallas que se encontraron en las pruebas que se realizaron así como la inclusión de más parámetros para así finalizar con el proceso de programación (Fig. 26).



**Figura 26. Modelo de ajustes.**

A medida que se programó el software se verificó que los cálculos estuvieran correctos ya que se tomó unos valores de un diseño realizado de forma tradicional, a medida que se detectaron los errores se ajustaron, se realizó el mismo proceso en cada etapa hasta que se completó. Estas pruebas dieron paso a ajustes en el software, que desde un principio no se tuvo en cuenta. Los resultados de estas pruebas fueron satisfactorios mostrando que el software funciona correctamente, Aunque la aplicación es de fácil manejo, es necesaria una introducción al manejo de la interfaz y haciendo uso del manual de usuario de ésta se puede lograr que tanto profesionales como estudiantes puedan hacer uso y diseñar su sistema en UDRIP. En el **Anexo 2**, se presenta el Manual del usuario donde se explica de manera detallada el manejo del software.

## **7. CONCLUSIONES**

- El proceso de diseño de un sistema RLAF, integra tres etapas básicas; el cálculo de la demanda hídrica, diseño agronómico y diseño hidráulico, las cuales están ligadas y deben desarrollarse de manera ordenada y lógica para obtener resultados satisfactorios.
- Los resultados del proceso de cálculo dependen de igual manera de la calidad de los datos de entrada al proceso lógico.
- El software diseñado (UDRIP) responde a la lógica del proceso de diseño de acuerdo a la sistematización realizada.
- El software UDRIP permite realizar el proceso de diseño en aproximadamente 5 minutos si se cuenta con el conocimiento del proceso y con los datos de entrada. Este tiempo es aproximadamente 10 veces menor que el tiempo que toma realizar el proceso con ayuda de hojas de cálculo o paso a paso de manera manual.
- Adicionalmente se concluye que el software permite realizar iteraciones con variaciones en los parámetros de manera rápida y eficiente de acuerdo a la necesidad del usuario.
- Finalmente se concluye que UDRIP es utilizable en cualquier zona del país donde los terrenos sean poco ondulados, es decir, con pendientes menores al 2% considerado como planos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda mejorar la versión actual adicionando un módulo para la evaluación de la calidad del agua, ya que en los sistemas RLAF es muy importante evitar la obturación de emisores.
- De igual manera se recomienda adicionar un módulo que permita el cálculo de la uniformidad de riego de una instalación existente, basado en datos de aforos de los emisores de cada módulo.
- Es pertinente recomendar la ampliación del módulo de diseño hidráulico para considerar zonas con pendientes mayores al 2%, es decir, zonas de piedemonte y ladera donde los sistemas RLAF representan una opción de manejo eficiente del agua y una estrategia para disminuir la erosión.
- En el mismo sentido se recomienda adicionar un módulo que permita el cálculo de cantidad de materiales básicos y la proyección de costos de cada módulo.
- Se recomienda el uso de UDRIP no solo en el sector técnico-comercial, sino en el sector académico podría ser una herramienta pedagógica para reforzar los conceptos propios del área.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Agudelo, R. Castellanos, D. Medina, M. 2005.** Automatización de sistemas de riego para el cultivo de flores tipo exportación. Pontifica Universidad Javeriana, Departamento de ingeniería electrónica, Bogotá D.C.

**Albornoz, I. 2006.** Software para el sector agropecuario. Instituto de industrias (IdeI), Universidad Nacional General Sarmiento, Argentina.

**Alonso, F. Martinez, L. Sergovia, F. 2005.** Introducción a la ingeniería del software, modelos de desarrollo de programas.

**Arango, j. 1998.** Manual de operación y mantenimiento para los sistemas de riego en ladera. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

**Avellaneda, M. Bermejillo, A. Mastrantonio, L. 2004.** Aguas de riego, calidad y evaluación de su factibilidad de uso. 1ª Edición.

**Bautista, J. A. 1997.** Respondiendo a la escases de agua de riego. Cambio institucional y mercado de agua. Revista Economía Agraria. Pg. 167-197.

**Bell, D. 2003.** Java para estudiantes. 3ª edición. P 545.

**Cadahía, C. 2005.** Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales 3ª edición.

**Campderrich, B. 2003.** Ingeniería de software 1ª edición.

**Deitel, H. 2004.** Como programar en java. 5ª Edición.

**Gurovich, L. 1985.** Fundamentos y diseño de sistemas de riego. P 395- 405.

**Holzapfel, E. 1998.** Riego por goteo y microjet. Facultad de ingeniería agrícola, Universidad de Concepción. P 2-6.

**Jaramillo, J. 2010.** Riego y drenaje agrícola. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. P 80.

**Lozada, A. 2005. El riego II.** Fundamentos de su hidrología y su práctica. Ediciones multiprensa, España. P. 155-56.

**Medina, J. 1997.** Riego por goteo, teoría y práctica. 4ª edición.

**Pizarro, F. 1996.** Riegos localizados de alta frecuencia goteo, microaspersión y exudación (RLAF).

**Pressman, R. 1992.** Ingeniería de software: un enfoque práctico.

**Rodrigo, J. Hernández, J. Pérez, A. Gonzales, J. 1992.** Riego localizado. Regadíos center. Centro nacional de tecnología de regadíos, España.

**Romero, L. 1997.** Publicar en internet, guía práctica para la creación de documentos en HTML. P 245-46.

**Sancy, N. 2001.** Su primer programa en java. P 11.

**Santos, L. De Juan Valero, J. Picornell, M. Tarjuelo, J. 2010.** El riego y sus tecnologías. Instituto superior de agronomía, Universidad técnica de Lisboa. Portugal.

**Sommerville, I. 2005.** Ingeniería del software, 7ª Edición.

**Valverde, J. 2007.** Riego y drenaje, Costa Rica. Segunda reimpresión P 147.

**Winder, R.1993.** Desarrollo de software con C++.

URL 1. Recurso electrónico disponible en <http://www.kriego.net/ksugar.htm> visitado el 08 nov. 11, 1:55 pm.

URL 2. Recurso electrónico disponible en <http://rilo.elregante.com/> visitado el 08 nov. 11, 2:18 pm.

URL 3. Recurso electrónico disponible en <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-4771> visitado el 08 nov. 11, 2:28 pm.

URL 4. Recurso electrónico disponible [www.irrimaker.com](http://www.irrimaker.com) en visitado el 12 may. 2012.

URL 5. Recurso electrónico disponible [www.rregar.com](http://www.rregar.com) en visitado el 12 may. 2012.

URL 6. Recurso electrónico disponible <http://www.acquanalyst.com/> en visitado el 12 may. 2012.

URL 7. Recurso electrónico disponible <http://fluing.upv.es/diopram.html> en visitado el 12 may. 2012.

URL 8. Recurso electrónico disponible en <http://netbeans.org/features/index.html> visitado el 15 enero de 2012.

URL 9. Recurso electrónico disponible en <http://netbeans.org/community/releases/70/relnotes.html> visitado el 01 de Diciembre de 2012.

URL 10. Recurso electrónico disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/NetBeans> Visitado el 01 de Diciembre de 2012.



## **10. ANEXOS**